Землетрясения с очагами в пределах города Алма-Ата

Н. Н. Михайлова, И. Н. Соколова, А. Е. Великанов, А. Н. Соколов

Филиал «Институт геофизических исследований» НЯЦ РК, 071100, Казахстан, г. Курчатов, площадка Меридиан, email: sokolova@kndc.kz

Аннотация

По новым данным о сейсмичности за последние десятилетия установлено, что на территории города Алма-Аты в его новых границах очаги землетрясений зарегистрированы в южной и юго-западной его части. Наиболее сильные из них ощущались на территории города с интенсивностью 4-5 баллов. Выявлены разломы на территории города, с которыми связаны эти землетрясения. Проведено сопоставление с исторической сейсмичностью района по данным сети радиотелеметрических скважинных станций, установленных КСЭ ИФЗ АН СССР. Показана необходимость дальнейшего изучения сейсмогенерирующих разломов на территории города, организации сейсмического мониторинга на ответственных объектах г. Алма-Аты, а также системы раннего оповещения о землетрясениях.

Ключевые слова:

Сейсмичность, сейсмогенерирующие зоны, скважинные станции, система раннего оповещения

Введение

Самый крупный мегаполис Казахстана, город Алма-Ата, с населением почти 2 млн. человек, расположенный в предгорьях Заилийского Алатау, дважды был разрушен сильнейшими Северо-Тяньшаньскими землетрясениями – Верненским 1887 г. с магнитудой 7.2 и Кеминским 1911 г. с магнитудой 8.2 [1-3]. Город неоднократно испытывал на себе и менее сильные воздействия. Из последних таких событий можно назвать Жаланаш-Тюпское землетрясение 1978 г. с магнитудой 6.9 и Суусамырское землетрясение 1992 года с магнитудой 7.3. На территории города в разных его частях они ощущались с интенсивностью 5 и 6 баллов.

Сейсмическую опасность города обычно связывают с сейсмогенерирующими зонами Северного Тянь-Шаня. Главные из этих зон, расположенные наиболее близко к городу, – Алма-Атинская, Заилийская и Чилико-Кеминская. Их сейсмопотенциал достаточно велик – возможные магнитуды сильнейших землетрясений с очагами в этих зонах составляют соответственно от 7.5 до 8.5, а интенсивность сотрясений на территории города может достигать от 8 до 10 баллов. Простирание зон совпадает с простиранием хребтов Заилийский и Кунгей Алатау, Чилико-Кеминской зоной разломов [4]. На рисунке 1 представлена карта активных тектонических разломов района, в таблице 1 представлены параметры тектонических событий с магнитудой М≥5 вблизи города.

Долгое время существовало твердое убеждение, что очаговых зон землетрясений на территории города нет. Считалось, что существующие на территории города разломы, выделенные и указанные на карте сейсмического микрорайонирования, могут усиливать или ослаблять эффект от проходящих сейсмических волн землетрясений с очагами в других сейсмогенерирующих зонах за пределами города. Проходящие волны могут приводить к вторичным движениям в зонах разломов, провоцировать появление трещин, разрывов и т.д. В последние годы территория города значительно увеличилась за счет присоединения к нему земель на западе, юге от города. Сейсмологи стали отмечать, что часто жителями мегаполиса ощущаются совсем небольшие по силе землетрясения с интенсивностью 2–3 балла с эпицентрами вблизи границ города или даже в его пределах [4].

В городе находится большое количество ответственных объектов, таких как исследовательский атомный реактор BBPK, селезащитная плотина, метро и т.д. В связи с этим, исследование сейсмической опасности г.Алма-Аты, и уменьшение рисков являются актуальными задачами. Целью настоящей работы является исследование современных очагов землетрясений непосредственно на территории города Алма-Ата в ее новых границах, и сейсмичности несколько десятков лет назад, разломов на территории города, с которыми может быть связана такая сейсмичность, а также сейсмические воздействия от локальных землетрясений.



Рис. 1. – Тектоническая схема Алма-Атинского региона в контуре 240×190 км.

Дата	время в очаге	широта	долгота	h, км	К	Mw	minIo	maxIo
1807		43.10	76.90	20	15.5	6.7	8	9
01.12.1880	23:30:00.0	43.10	76.90	14	14	5.9	7	8
08.06.1887	23:35:00.0	43.10	76.80	20	16.4	7.3	9	10
21.08.1887	21:00:00.0	43.10	76.80	20	14.1	5.7	7	7
25.02.1889	06:08:00.0	43.10	76.90	15	13	5	6	7
28.02.1916	13:16:00.0	43.00	77.20	25	14.5	6	6	7
17.03.1937	21:26:00.0	43.00	77.10	ЗК	12	5.1		
15.08.1940	09:09:00.0	43.00	76.70	ЗК	12	5		
22.02.1957	04:57:53.8	42.95	76.90	30	12	5		
03.05.1990	10:02:19.4	42.92	76.83	13	12.2	4.9		

Таблица 1. Параметры исторических сильных землетрясений вблизи г. Алма-Аты.

Используемые материалы

Изучение сейсмического режима Северного Тянь-Шаня нашло отражение в большом количестве публикаций, однако исследователей больше интересовали источники и проявления сильных землетрясений, способные вызвать масштабные разрушения на большой территории, сейсмический режим зон, в которых могут происходить такие землетрясения [3]. Изучение сейсмичности территории самого города и ближайших его окрестностей на протяжении многих лет оставалось нерешенной проблемой. Это было связано с тем, что для детального изучения сейсмичности и геодинамических процессов в пределах города и его окрестностей необходим высокочувствительный непрерывный сейсмический мониторинг, который должен учитывать специфические особенности регистрации сейсмических событий на фоне высокого уровня антропогенных помех. Использование аналоговой аппаратуры без возможности применения частотной фильтрации было затруднительно для решения этой задачи.

Первая попытка провести такие исследования была предпринята в 70-х – 80-х годах прошлого века. В те годы вблизи города Алма-Аты сотрудниками Комплексной сейсмологической экспедиции Института Физики Земли АН СССР была создана и успешно функционировала сеть из 8 высокочувствительных радиотелеметрических станций, часть из которых находилась в глубоких скважинах [5] (рисунок 2). Глубина установки сейсмометров была уникальной: станция Алма-Ата (VIRG) установлена на глубине 1000 м, Али (ALI) на глубине 800 м, а Ново-Алексеевка (NAA) – 1200 м. Погружение сейсмодатчиков в скважины позволило снизить уровень сейсмических шумов большого города. Многолетние исследования показали высокую эффективность аппаратуры и выбранной конфигурации сети, а также использования скважиных станций совместно с наземными станциями. Это позволило не только значительно повысить чувствительность наблюдений, но и добиться высокой для того времени точности определения эпицентров, которая составила ±2 км, точность определения глубины 3–5км. К сожалению, после 1983 г. сеть скважиных станций была законсервирована из-за отсутствия финансовых средств и больше не использовалась для систематической текущей обработки близких землетрясений.

В начале 2000-х годов была модернизирована сеть сейсмических станций, относящихся к СОМЭ МОН РК, находящихся вблизи г. Алма-Аты. На них была установлена цифровая чувствительная аппаратура (рисунок 3), передающая данные в Центр обработки в реальном режиме времени, что позволило провести детальный анализ сейсмического режима города за последние 20 лет. Дополнительно к этой сети начали работу станции Института геофизических исследований НЯЦ РК – станции KNDC и KASK. В настоящее время на территории города действуют три стационарных сейсмических станции – Центральная сейсмическая станция «Алматы» (пр. Аль-Фараби), станция Казахстанского национального центра данных ИГИ – станция KNDC (пр. Достык-ул. Чайкиной), станция Медео. Для локализации гипоцентров и их энергетической параметризации используются и другие станции Казахстана двух организаций, а также станции Кыргызстана.

Для выявления новых и уточнения местоположения уже известных разломов проведено дешифрирование космических снимков в пределах площади исследований 100×100 км. При дешифрировании в первую очередь использован материал многоспектральных сканирующих космических съёмок LANDSAT TM с 1989 г. и ЕТМ с 1999 г., скомпонованных для 1990 г. (осень) и для 2000 г. (весна) в единые по геометрической и цветовой коррекции спутниковые изображения с разрешением 28 м на местности [4]. Также использована одна сцена 36×42 км многоспектрального изображения территории г. Алма-Аты ориентировочно за 1995 г., включающая видимые и инфракрасные каналы спектра, с разрешением на местности 6 м. Она была использована для выделения и уточнения местоположения тектонических разломов в ситуации, когда город ещё не был подвержен современной интенсивной застройке. Для детального дешифрирования в сложных тектонических узлах в пределах исследуемой площади также использовались спутниковые изображения с высоким разрешением до 5 и до 1 м [4]. Визуальное дешифрирование производилось на мониторе компьютера в векторной форме программными средствами MapInfo по растровой подложке спутниковых изображений. В дешифрирования космических снимков отмечались линеаменты процессе линейного характера, интерпретируемые как тектонические нарушения. По мощности линеаментных зон выделялись главные, основные, второстепенные разломы и тектонические трещины [4].



Рис. 2. – Карта расположения скважинных (кружки) и наземных (треугольники) сейсмических станций ИФЗ АН СССР [5].



Рис. 3. – Карта расположения современных цифровых станций вблизи г. Алма-Ата.

Анализ сейсмического режима территории города Алма-Ата

Результат многолетнего мониторинга сейсмического режима города Алма-Ата сетью радиотелеметрических станций ИФЗ нашел отражение в монографии [4], по результатам обработки был создан каталог сейсмических событий вблизи г. Алма-Ата. Всего в каталог за 01.4.1972 – 31.12.1982 включено 983 сейсмических события с энергетическими классами K=5.0–13.0 (рисунок 4). На рисунке 4 представлена карта эпицентров землетрясений в районе г. Алма-Ата с нанесенными на нее современными контурами города (2014 г.). Как видно, эпицентры землетрясений на территории города расположены на общирной территории с юговостока до северо-запада. На севере, северо-востоке не было зарегистрировано ни одного сейсмического события.

Тангенс угла наклона графика повторяемости землетрясений на территории г. Алма-Ата и прилегающих территорий за период 1972–1982 гг. составил у=-0.5.

За период времени с 2005-2020 г. на территории города и ближайших окрестностей было зарегистрировано 1984 землетрясения с энергетическими классами К=2.7–11.1. На рисунке 5 приведена гистограмма энергетических классов землетрясений за этот период. Видно, что современной сетью станций регистрируются гораздо более слабые толчки, чем в период 1972–1982 гг. Многие из них на территории города имеют энергетические классы менее 5. Но точность локализации событий и определения их глубины не повысилась по сравнению с телеметрической сетью КСЭ.

На рисунке 6 представлена карта эпицентров землетрясений за 2005–2020 гг. и тектоника района г. Алма-Аты в контуре 60×70 км на карте рельефа и на топографической основе. Кроме эпицентров современных землетрясений, на карте показаны эпицентры сильных землетрясений с исторических времён с магнитудой 5.5 и более, а также активные разломы. Очаги сильных землетрясений в основном приурочены к крупным региональным разломам – Заилийскому и Чиликскому. Характер распределения очагов слабых землетрясений за 2005–2020 гг. аналогичен распределению эпицентров за период 1972–1982 гг. Тангенс угла наклона графика повторяемости землетрясений на территории г. Алма-Аты и прилегающих территорий за период 2005–2020 гг. практически совпадает с аналогичным параметром 1972–1982 гг. γ = -0.52. На рисунке 7 показано количество землетрясений по годам в рассматриваемом районе, до 2014 г. наблюдался рост количества зарегистрированных землетрясений, затем резкий спад.

Итак, на современной территории города Алма-Ата происходили и происходят в настоящее время землетрясения. Пространственное положение очагов позволяет по данным двух этапов сейсмических наблюдений говорить о разделении территории города условно на сейсмичную и несейсмичную части. Под сейсмичной понимаем ту, где расположены очаги землетрясений. К ней относятся южная и юго-западная части города. Как в 1972–1982 гг., так и в 2005–2020 гг. разделение происходит по тектоническому разлому, простирающемуся в направлении ЮВ-СЗ, ориентировочно от урочища Медео в сторону оз. Сайран. Ранее на карте СМР этот разлом выделялся только за пределами города в горной местности. Внутри этой сейсмичной части города наиболее сильные землетрясения наблюдаются на границе рельефных уступов тектонического происхождения, территориально приуроченных к пос. Карагайлы, который в 2014 г. включен в состав города.

Проходящий через территорию города Алматинский разлом также служит ограничителем сейсмической территории города с северной стороны. Очаги наиболее сильных землетрясений, приуроченных к Алматинскому разлому, находятся за пределами города в сторону г. Каскелен.

Записи сильных движений ощутимых землетрясений

Постоянный мониторинг сильных движений в КНЦД был начат с 2006 г., с этого времени была создана и постоянно пополняется база данных цифровых записей сильных движений [6]. Обработка данных осуществляется при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [7], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, производить расчеты спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, производить дифференцирование и интегрирование записей. Созданы каталоги параметров записей и соответствующих спектров реакции. В таблице 2 представлены параметры записей сильных движений по станции KNDC для ощутимых землетрясений на территории города последнего периода наблюдений. Максимальное ускорение соответствует землетрясению 29 декабря 2007 г., на эпицентральном расстоянии 26 км от станции KNDC, оно составило 33.9 см/с². Примерно такой же интенсивности было землетрясение 15 марта 2015 года, его очаг располагался близко к очаговой зоне землетрясения 29.12.2007 г., расстояние до станции KNDC 26 км, максимальное ускорение составило 27.2 см/с².

Отметим, что все спектры реакции разных землетрясений с очагами на территории г. Алма-Ата и вблизи нее имеют сходную форму, являются высокочастотными с периодами колебаний в максимуме спектра от 0.10 до 0.13 с. На рисунке 9 представлены спектральные кривые динамичности β, построенные по записям событий из таблицы 3, зарегистрированных по горизонтальным компонентам станцией KNDC.



Рис. 4. – Сейсмичность района г. Алма-Ата в контуре 160×160 км за 1972–82 гг. Современная граница города – зеленый контур.



Рис. 5. – Гистограмма землетрясений по энергетическим классам за период 2005–06.2015 гг.



Рис. 6. – Современная сейсмичность (2005-2020 гг.) и тектоника района г. Алма-Аты в контуре 60×70 км на карте рельефа [4]. Тектонические нарушения в коренных породах и перекрытые рыхлыми отложениями (пунктиром): 1 – главные разломы; 2 – основные разломы; 3 – второстепенные разломы. Эпицентры землетрясений с магнитудой mpv: 4 – с 4 до 4.7; 5 – с 3 до 4; 6 – с 2 до 3; 7 – до 2; 8 – эпицентры сильных землетрясений с исторических времён с магнитудой 5.5 и более; 9 – эпицентры ощутимых землетрясений после 2005 года с записями сильных движений; 10 – контур города Алма-Ата 2015 г.



Рис. 7. – Количество землетрясений по годам в рассматриваемом районе.

ГГГГ	ММ	дд	t0	φ°, N	λ°, Ε	mb	Δ, км	IO	Асм/с2	Асм/с2	Асм/с2	T(A)
									E-W	N-S	Ζ	
2007	11	1	18:27:40	42.93	77.2	4.3	27		0.2	0.2	0.3	0.1
2007	12	29	21:27:22.0	42.9	76.85	4.9	26	4	32.1	33.9	17	0.4
2009	4	8	17:15:04.9	43.02	77.1	4	24		0.7	0.7	1.5	0.1
2011	7	21	18:11:42.2	42.97	77	3.9	32	2	0.9	1.3	0.3	0.1
2011	10	22	23:17:36.2	43.17	76.86	4.1	18	2-3	0.7	1	0.9	0.15
2013	1	29	10:03:36.7	43.07	76.69	4.1	28		0.4	0.9	0.5	0.05
2014	10	24	05:57:26.5	43.18	76.83	3	12		0.5	0.2	0.4	0.09
2014	11	23	17:53:26.7	43.21	76.7	3.6	22	2	0.4	0.3	0.5	0.12
2014	11	26	17:57:18.3	43.34	76.84	3.8	17	2-3	0.7	1.4	0.7	0.12
2014	12	4	05:25:25.3	43.06	77.34	4.4	35	2-3	1.6	1.8	1.1	0.12
2015	3	15	14:01:00.5	42.99	76.88	5.1	26	4-5	14.6	13.6	27.2	0.12
2018	2	2	9:20:44	43.15	76.88	3.6	9	3-4	7.4	2.8	2.8	0.17
2018	2	15	17:38:13	43.16	76.89	2.8	9	2	0.9	0.8	0.4	0.17

Таблица 2. Параметры записей сильных движений по станции KNDC.

В последнее время, начиная с ноября 2014 года на территории г. Алма-Аты достаточно часто ощущались толчки от землетрясений, эпицентры которых находились в непосредственной близости от границ города. 23 ноября 2014 г. и 26 ноября 2014 г. землетрясения произошли с западной и северо-западной стороны города, 4 декабря 2014г. – с юго-восточной стороны, 15 марта 2015 г., 2 и 15 февраля 2018 г. – с юго-западной. На рисунке 8 представлены сейсмические записи землетрясения 2 февраля 2018 г. в 9:20:44.



Рис. 8. – Сейсмические записи землетрясения 2 февраля 2018 г. в 9:20:44 по станции KNDC.



Рис. 9. – Кривые динамичности β, построенные по горизонтальным компонентам записей событий из таблицы 2 по станции KNDC.

Высокий уровень сейсмической опасности, густонаселенность района, а также наличие ответственных объектов на территории города обусловили необходимость разработки и установки систем раннего предупреждения для района г. Алма-Ата и отдельных объектов. В 2018 – 2019 гг. вблизи г. Алма-Аты была установлена и работает в тестовом режиме система раннего оповещения о сильных землетрясении (СРО), в тесном сотрудничестве с НПК «Вулкан» (РФ) и GeoSig (Швейцария) (рисунок 10) [8]. Выполнена интеграция создаваемой в Институте сейсмологии МОН РК СРО в систему оповещения КЧС МВД РК. Получаемый сигнал раннего оповещения о землетрясении автоматически передается в ДЧС по г. Алма-Аты для дальнейшего распространения [8].



Рис. 10. – Схема расположения станций Системы раннего оповещения для г. Алма-Аты [8].

Выводы и рекомендации

- 1. По материалам сейсмических наблюдений достоверно установлено, что на территории города Алма-Ата в его южной и юго-западной части происходят землетрясения.
- 2. Выявлены активные разломы на территории города, с которыми связаны очаги землетрясений, ограничивающие сейсмически активную его часть.
- 3. Требуется проведение более детального уточнения современной сейсмотектонической обстановки района г. Алма-Ата для целей микросейсморайонирования, включающее:

- детальное дешифрирование крупномасштабных космических снимков всей исследуемой территории с разрешением до 1-5 м;

- детальный анализ крупномасштабных топографических карт масштабов 1:25 000 и 1:10 000, что очень важно для мало расчленённой предгорной области исследуемой территории.

- 4. Необходимо изучить сейсмопотенциал разломов на территории города, т.е. установить, какие максимально сильные землетрясения возможны в пределах города.
- 5. Желательно уточнение глубинного положения очагов на территории города путем организации сейсмического мониторинга территории с помощью расстановки плотной сети полевых сейсмических

станций вокруг города, а также использование для города Алма-Аты системы раннего оповещения о происходящих событиях.

Литература

- 1. Нурмагамбетов А.Н. Сейсмическая история Алматы. Алматы: LEM, 68 с. 1999.
- 2. Ержанов Ж.С., Шацилов В.И., Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Абулгазин Р.К. Сейсмическое микрорайонирование территории города Алматы. Алматы: Наука Казахской ССР. 114 с. 1982.
- 3. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы: Гылым. 168 с. 2004.
- 4. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н. Землетрясения на территории города Алматы // Вестник НЯЦ РК. Вып. 3. С.87-93. 2015.
- 5. Гальперина Р.М., Нерсесов И.Л., Гальперин Е.И. Сейсмический режим района города Алма-Аты за 1972-1982 гг. М.: Наука, 248 с. 1985.
- 6. Соколов А.Н., Михайлова Н.Н. Регистрация и база данных сильных движений на Казахстанских станциях ядерного мониторинга // Вестник НЯЦ РК. Вып. 1. С.125-131. 2014.
- 7. Kashima T. ViewWave Help, IISEE, BRI. 2002.
- Казаков Д.В., Антипов С.М., Нуржумаев Н.О. Создание системы раннего оповещения о сильном землетрясении для г. Алматы // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции 29 сентября–5 октября 2019 г. г. Петропавловск-Камчатский. 2019.